تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره‌ی ۳۹- ۲۰۱۰ با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM

ایمان بابائیان (دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تبریز؛ نویسنده مسؤول)
Babaeian@irimo.ir
زهرا نجفی نیک (کارشناس ارشد اقلیم شناسی، مسؤول تحقیقات ادارهٔ کل هواشناسی استان کرمان)
zahranagafi@yahoo.com

چکیده

به دلیل تفکیک فضایی کم ، حذف و یا ساده سازی برخی پدیده‌های خرد مقیاس در الگوهای گردش عمومی جو، آنها در مقایسه با الگوهای منطقه ای و کوتاه مدت، نمی‌توانند تقریب درستی از شرایط آب و هوایی ناحیه‌ی مورد مطالعه را ارائه دهند. لذا باید خروجی این الگوها توسط الگوهای دینامیکی منطقه‌ای و یا آماری ریزگردانی شوند، تا با لحاظ اثرات محلی، خطای الگوهای گردش عمومی جو به حداقل ممکن برسد. در این مطالعه داده های روزانه‌ی الگوی گردش عمومیECHO-G تحت سناریوی A1 ، که از مرکز تحقیقات هواشناسی کشور کره جنوبی گرفته شده است، توسط الگوی آماری LARS-WG نسخه ۳ از مقیاس مکانی ۲/۸×۲/۸ درجه‌ی جغرافیایی تا مقیاس ایستگاهی ریزگردانی شدند. توانمندی الگوی آماری در شبیه سازی اقلیم گذشته (۲۰۰٤–۱۹۸۸) ایستگاههای استان خراسان رضوی با کاربرد سناریوی حالت پایه و داده های دیدبانی مورد تأیید قرار گرفت. سپس بارش، تابش، دمای کمینه و بیشینه‌ی دوره ۳۹–۲۰۱۰ در ایستگاههای هواشناسی استان خراسان رضوی الگوسازی شد. نتایج این تحقیق حاکی از کاهش۹/۵ درصدی بارش در منطقه‌ی مورد مطالعه ، افزایش میانگین سالانه‌ی دما بین ۱/۵ تا ۳/۳ درجه در ایستگاههای سینوپتیک استان، افزایش آستانه‌ی بارش‌های سنگین و بسیار سنگین بین ٤٥ تا ٦٠ درصد و همچنین کاهش بارش‌های فصل سرد تا حدود سیزده درصد و جابه‌جایی آن به سوی انتهای فصل سرد است. هرچند بارش‌های تابستانه در استان قابل ملاحظه نیستند، اما نتایج این تحقیق نشان دهنده‌ی افزایش حدود پنجاه درصدی بارش‌های تابستانه در این استان است.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، دوره ۳۹–۲۰۱۰، خراسان رضوی، الگوی گردش عمومی جو، ریزگردانی.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۹/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱۰/۱۸

درآمد

به دلیل موقعیّت در کمربند پرفشار نیمکره شمالی، بیشتر مناطق کشور از جمله استان خراسان دارای آب و هوای گرم و خشک تا نیمه خشک و در برخی نواحی نیمه مرطوب است. بنابراین پیش بینی و پایش دراز مدت شرایط آب و هوایی هر منطقه، می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با عوارض ناگوار تغییرات آب و هوایی، مانند: خشکسالی، سیل و .... باشد(احترامیان، ۱۳۸۳). با توجه به تنوع اقلیمی کشورمان و وابستگی اقتصاد بسیاری از استان‌ها به بخش کشاورزی و منابع آب، لازم است مطالعات اساسی در ارتباط با تغییر اقلیم در سه بخش شناخت علمی و مقادیر کمی، پیامد ها و روش‌های سازگاری با پیامدهای آن در پهنه‌های متفاوت اقلیمی کشورمان انجام شود، تا پیامد های زیان‌بار تغییر اقلیم به کمترین مقدار ممکن کاهش یابد.

مهمترین نگرانی دانشمندان هوا و اقلیم شناسی در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش کلی زمین و به دنبال آن وضع اقلیم دهه‌های آتی کره زمین است. درحال حاضر اقلیم شناسان با استفاده از خروجی الگوهای گردش عمومی‌جو و ریزگردانی آنها توسط الگوهای دینامیکی و آماری ، توانسته اند تا حدودی وضعیت اقلیم جهان را تا سال ۲۱۰۰ الگوسازی نمایند. اجرای الگوهای گردش عمومی جو برای یک دوره زمانی طولانی مدت با دو مشکل وقت‌گیر بودن و نیاز به سرعت های بالای پردازش روبرو است، لذا برای چیره شدن بر این مشکل، ساده سازی‌هایی در راهکارها[1] و پرمایش[2] فیزیکی و محاسباتی الگوهای گردش عمومی جو انجام می‌شود، که از آن جمله کاهش تفکیک فضایی و حذف برخی فرآیندهای فیزیکی و ترمودینامیکی در مقیاس خرد است. این ساده سازی‌ها خطای الگوهای گردش عمومی جو را افزایش داده و موجب بروز خطا در پیش‌بینی‌ها و در نتیجه ارزشیابی اقلیم آتی کره زمین می‌شود. برای رفع این نقیصه خروجی الگوهای گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریزگردانی می‌شوند. یکی از روش های ریزگردانی استفاده از الگوهای تولید

1. Scheme
2. Parameterization

داده‌های هواشناسی[1] است. این الگوها ابزاری برای پیش بینی وضع هوا یا اقلیم نیستند، بلکه آنها برای بررسی اثرات و ارزشیابی‌های تغییر اقلیم طرّاحی شده اند. الگوهای مولّد داده‌های هواشناسی اصولاً بر دو نوع‌اند: نوع ریچاردسون و نوع سریال. در نوع ریچاردسون برای الگوسازی رویداد بارش (وقوع یا عدم وقوع آن) از فرایند زنجیره‌ی مارکف استفاده می شود. در این روش ابتدا تر یا خشک بودن روز مورد نظر تعیین شده سپس در صورتی که روز مورد بررسی یک روز تر باشد، میزان بارش از توزیع گاما محاسبه می شود. اما در الگوهای نوع سریال، اولین قدم الگوسازی سری روزهای تر و خشک است. اولین الگوی نوع سریال توسط زمنف در سال ۱۹۹۱ ابداع شد. این الگوها برای شبیه سازی طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش آفتاب یا ساعات آفتابی از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌کنند. مدل LARS–WG که دراین نوشتار از آن استفاده شده است، از نوع الگوهای سریال است(بابابیان، ١٣٨٤).

از مطالعات شاخص در این زمینه می‌توان به مقاله‌ی سی. اس. تامسون[2] و آ.ب. مولان[3] (۱۹۹۵) اشاره کرد، که در آن اقلیم ایستگاههای هواشناسی کشور نیوزلند تا سی سال آینده الگو شده است. جی. ال. جانسون [4] و همکارانش از مرکز تحقیقات منابع آب شمال‌غرب آمریکا در مجله‌ی هواشناسی کاربردی انجمن هواشناسی آمریکا عملکرد و قدرت الگوسازی دو الگو مختلف تولید داده های آب و هواشناسی به نام‌های USCLIMATE و CLIGEN را مورد بررسی قراردادند. آر. دی. هارمل و همکارانش در مؤسسه‌ی تحقیقات کشاورزی آمریکا دمای کمینه و بیشینه‌ی ایستگاههای هواشناسی آمریکا را با استفاده از روش های آماری الگو کردند. با توجه به این‌که در الگوهای آماری USCLIMATE, WXGEN, LARS-WG, CLLGEN و CLLMGEN فرض بر این است که رفتار دمای کمینه و بیشینه از توزیع نرمال پیروی می‌کند، آنها رفتار دمایی پانزده ایستگاه هواشناسی آمریکا را در دوره‌ی زمانی ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ مورد مطالعه قرارداده و داده‌های الگو شده را با داده های واقعی دوره‌ی مذکور مقایسه نمودند. آنها مشاهده کردند که

1. Weather Generator
2. C.S.thompson
3. A.B.Mullan
4.G.L.Johnson.

فرض پیروی از توزیع نرمال برای دما در برخی از ایستگاهها نادرست بوده و دارای چولگی می باشد.

در الگوی CLIMGEN رخداد بارش روزانه با استفاده از زنجیره‌ی مارکف الگو می‌شود. اما برآورد میزان بارش با استفاده از توزیع ویبول انجام می گیرد. مک کاگ [1] و همکاران توان-مندی این الگو را برای شبیه سازی پارامترهای هواشناسی مورد مطالعه قرار دادند. الگوی MET& ROLL داده های دمای بیشینه و کمینه، تابش خورشیدی و بارش را روی یک ایستگاه هواشناسی الگوسازی کردند. از مهمترین مطالعات مرتبط با این موضوع می‌توان به ارزشیابی تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰٤۹ اشاره کرد. در این مطالعه تمامی مقادیر روزانه‌ی بارش، تابش، دمای کمینه و بیشینه برای ده ایستگاه سینوپتیک کره جنوبی با استفاده از الگوی LARS–WG برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰٤۹ تولید شد و مطالعات روی پارامترهای اقلیمی بارش، تابش، دمای کمینه و بیشینه، طول روزهای تر و خشک، طول روزهای داغ و یخبندان و روند تغییرات بارش‌های سنگین برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ انجام گرفت.

اما در کشور ما اخیراً تعداد معدودی پژوهش‌های مرتبط با روش‌های ریزگردانی آماری انجام شده است. از آن جمله می‌توان به « مطالعات مقدماتی و ارزشیابی الگوهای تولید داده، مطالعه‌ی موردی: ارزشیابی الگوی LARS–WG روی ایستگاههای منتخب خراسان» اشاره کرد که در سال ۱۳۸٤ در گروه پژوهشی تغییر اقلیم پژوهشکده اقلیم شناسی به انجام رسیده است. در پروژه یاد شده به مبانی آماری و نظری الگوهای تولید داده ، انواع آن و برخی الگوهای معروف در این ارتباط پرداخته شده است. سپس با جزئیات بیشتر به معرفی الگوی LARS-WG چگونگی اجرای آن، داده های مورد نیاز و نحوه‌ی تولید سناریوی تغییر اقلیم به عنوان ورودی این الگو اشاره شده است. نهایتاً روی چهار ایستگاه منتخب خراسان شامل مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه، مطالعه‌ی موردی انجام شده است. نتایج شهودی و آماری حاکی از قدرت بسیار خوب الگو در شبیه سازی داده‌های دوره آماری این ایستگاهها توسط الگوی مذکور است. بررسی مطالعات مذکور نشان دهنده‌ی اهمیت بسیار زیاد الگوهای تولید

1. K. MCKague

داده در الگوسازی پارامترهای هواشناسی در دوره‌ی آماری و همچنین استفاده از آن برای ارزشیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی است.

۱. توصیف الگوی مورد استفاده

یکی از مشهورترین الگوهای تولید، داده‌های هواشناسی LARS-WG است که برای تولید بارش روزانه، تابش، بیشینه و کمینه درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. نسخه‌ی اولیه‌ی LARS-WG در بوداپست طیّ سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزشیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هسته‌ی اصلی این الگو استفاده از زنجیره‌ی مارکف است که به دفعات از آن استفاده شده است. در این الگو، زنجیره‌ی مارکف برای الگوسازی رخداد بارش استفاده شده است. زنجیره‌ی مارکف همیشه قادر نیست به طور صحیح طول دوره‌ی خشکی را شبیه‌سازی نماید. طول دوره‌ی خشکی برای ارزشیابی عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق مختلف جهان بسیار مهم است. کارایی دو الگوی LARS - WG و WGENدر هجده ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا توسط سمنو[1]، در سال ۱۹۹۰ بررسی شده است. در این‌جا سری‌های فوریه، درجه حرارت را برآورد می‌کنند. توزیع نیمه تجربی که در این الگو به کار رفته شامل ده فاصله است، بنابراین بیست و یک پارامتر مورد نیاز است که یازده پارامتر آن فاصله‌ی هر طبقه و ده پارامتر باقی مانده تعداد رخدادها را در هر فاصله نشان می‌دهند. توزیع نیمه تجربی تابش به این صورت است که فاصله‌ها به طور مساوی بین تابش بیشینه و کمینه‌ی ماهانه تقسیم می‌شوند؛ در حالی‌که فاصله‌ها برای طول روز تر و خشک و بارش، افزایشی هستند. برای یک روز تر مقدار بارش از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و به طور مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه‌ی روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه، که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظراند، الگوسازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه‌ی سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می رود. مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار

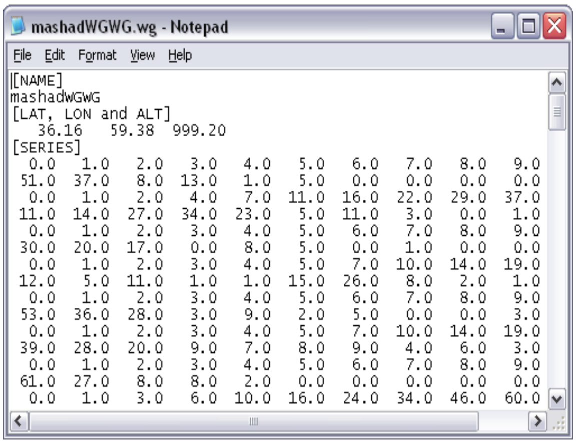
1.Semenov

دیدبانی شده به دست می‌آیند، در تحلیل خود هم‌بستگی زمانی داده‌های بیشینه و کمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند(زمنف، ۲۰۰۲).

این الگو از سه بخش اصلی تشکیل شده، واسنجی[1]، ارزشیابی و بخش تولید داده های هواشناسی. یکی از نیازهای اساسی LARS WG ایجاد سناریوی تغییر از خروجی الگوهای GCM است. سپس این الگو با دریافت داده‌های هواشناسی دوره آماری و خروجی الگوی ECHO-G در دوره مشابه با دوره‌ی آماری و آینده، می‌تواند پارامتر های هواشناسی را به صورت روزانه و در مقیاس ایستگاهی برای نقاط مورد مطالعه در آینده تولید نماید. لذا برای اجرای الگوی LARS-WG و ریز گردانی داده های گردش عمومی جو، ایجاد دو فایل اساسی مشخص کننده رفتار اقلیم در گذشته (WG) و سناریوی تغییر (Sce) مورد نیاز است وجود دارد. فایل اول از داده‌های روزانه‌ی ایستگاهها و فایل دوم از خروجی الگوی گردش عمومی جو در دوره مشابه با دوره‌ی آماری و دوره مورد ارزشیابی به دست می آیند. در شکل ۱ برای نمونه، فایل مشخصه‌ی اقلیم مشهد که توسط الگوی LARS-WG ساخته شده است، دیده می شود.

شکل ۱. فایل مشخصات رفتار اقلیم مشهد(WG)

در دوره‌ی آماری(۲۰۰۴ تا ۱۹۸۸)



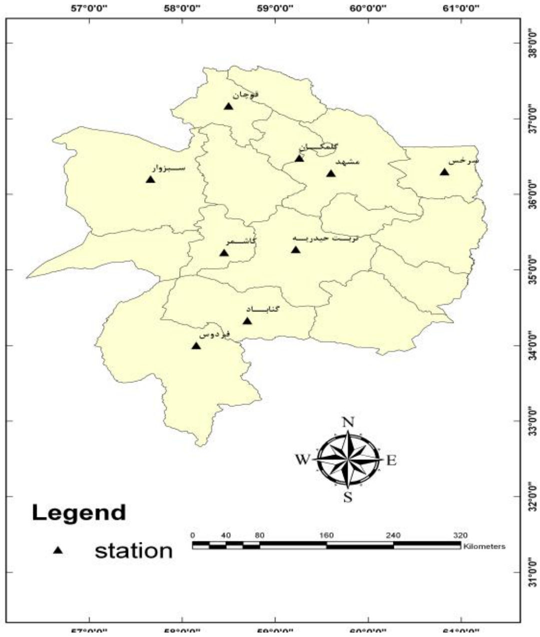
```
mashadWGWG.wg - Notepad
File Edit Format View Help
[NAME]
mashadWGWG
[LAT, LON and ALT]
   36.16   59.38  999.20
[SERIES]
  0.0   1.0   2.0   3.0   4.0   5.0   6.0   7.0   8.0   9.0
 51.0  37.0   8.0  13.0   1.0   5.0   0.0   0.0   0.0   0.0
  0.0   1.0   2.0   4.0   7.0  11.0  16.0  22.0  29.0  37.0
 11.0  14.0  27.0  34.0  23.0   5.0  11.0   3.0   0.0   1.0
  0.0   1.0   2.0   3.0   4.0   5.0   6.0   7.0   8.0   9.0
 30.0  20.0  17.0   0.0   8.0   5.0   0.0   1.0   0.0   0.0
  0.0   1.0   2.0   3.0   4.0   5.0   7.0  10.0  14.0  19.0
 12.0   5.0  11.0   1.0   1.0  15.0  26.0   8.0   2.0   1.0
  0.0   1.0   2.0   3.0   4.0   5.0   6.0   7.0   8.0   9.0
 53.0  36.0  28.0   3.0   9.0   2.0   5.0   0.0   0.0   3.0
  0.0   1.0   2.0   3.0   4.0   5.0   7.0  10.0  14.0  19.0
 39.0  28.0  20.0   9.0   7.0   8.0   9.0   4.0   6.0   3.0
  0.0   1.0   2.0   3.0   4.0   5.0   6.0   7.0   8.0   9.0
 61.0  27.0   8.0   8.0   2.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
  0.0   1.0   3.0   6.0  10.0  16.0  24.0  34.0  46.0  60.0
```

1. Calibration

۲. داده ها، ناحیه و دوره‌ی مورد مطالعه

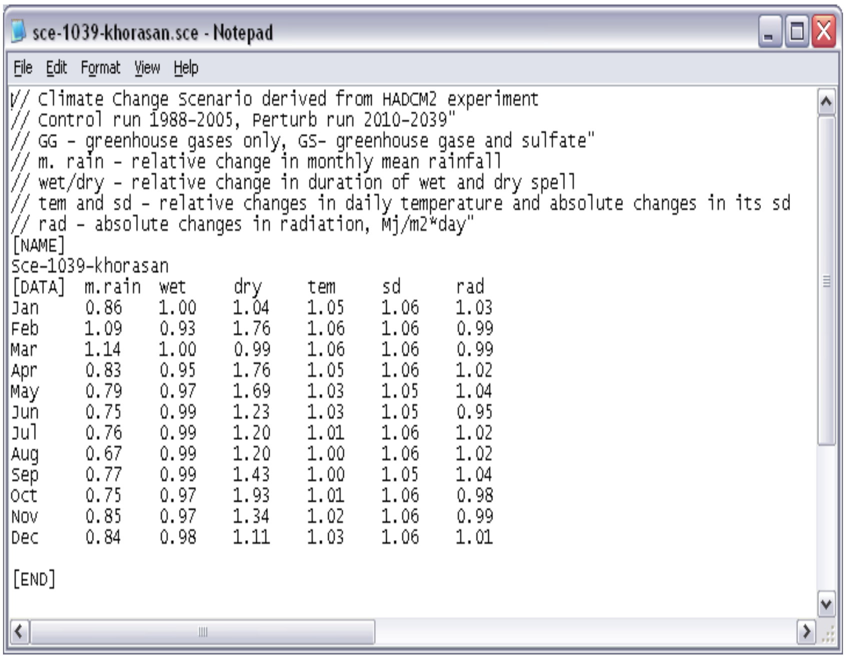
مطالعه‌ی حاضر روی ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان رضوی شامل سرخس، گناباد، قوچان، گلمکان، کاشمر، تربت حیدریه، فردوس، سبزوار و مشهد انجام شده است(شکل ۲). با توجه به این‌که طول دوره‌ی آماری ایستگاههای مذکور یکسان نبودند، لذا به منظور یکسان سازی طول دوره‌ی آماری، فاصله‌ی زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۰٤ به عنوان دوره‌ی اقلیم پایه لحاظ شد. شکل داده‌های مورد استفاده در این الگو شامل دوگونه داده بودند: داده های مشاهداتی و داده های خروجی الگوی گردش عمومی جو. داده‌های مشاهداتی شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش به صورت روزانه بودند. البته از آن‌جا که این الگو از پارامتر تابش به صورت ماهانه برای الگوسازی دما استفاده می‌کند، لذا به جای داده های روزانه تابش می توان از مقادیر ماهانه‌ی این پارامتر یا ساعت آفتابی استفاده کرد.

شکل ۲. موقعیّت جغرافیایی ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه. در این مطالعه ایستگاههای دارای کمتر از هفده سال آمار حذف شده اند.



داده‌های الگوی گردش عمومی جو مورد استفاده در این مطالعه از الگـوی ECHO-G گرفتـه شده است که هم اکنون در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی بـا سناریوی انتشار A1 در حال اجراست. خروجی‌هـای ایـن الگـو در دوره‌ی زمـانی ۱۹۷۰ تـا ۲۰٤۹ در محدوده‌ی ایران شـامل عـرض جغرافیـایی ۲٤ تـا ۳۹ درجـه‌ی شـمالی و ٤٥ تـا ٦٤ درجه‌ی شرقی به صـورت روزانـه و بـا تفکیـک ۲/۸×۲/۸ درجـه در بانـک اطلاعـات اقلیمـی پژوهشکده اقلیم شناسی دردسترس اسـت. بـا اسـتفاده از خروجـی‌هـای الگـوی ECHO-G در شبکه‌ای که استان خراسان رضوی در آن قرار دارد، فایلی با عنـوان Sce ایجـاد مـی شـود کـه مشخص کننده وضعیت اقلیمی استان در دوره آینده اسـت(شـکل۳). بـا اسـتفاده از فایـل آن و فایلی که قبلاً با عنوان WG ایجاد شده است، می‌توان وضـعیت اقلیمـی اسـتان را بـرای دوره‌ی آینده شبیه سازی نمود.

شکل ۳. سناریوی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی برای دهه‌ی ۲۰۲۰ میلادی



```
sce-1039-khorasan.sce - Notepad
File Edit Format View Help
// Climate Change Scenario derived from HADCM2 experiment
// Control run 1988-2005, Perturb run 2010-2039"
// GG - greenhouse gases only, GS- greenhouse gase and sulfate"
// m. rain - relative change in monthly mean rainfall
// wet/dry - relative change in duration of wet and dry spell
// tem and sd - relative changes in daily temperature and absolute changes in its sd
// rad - absolute changes in radiation, Mj/m2*day"
[NAME]
Sce-1039-khorasan
[DATA]  m.rain  wet    dry    tem    sd     rad
Jan     0.86    1.00   1.04   1.05   1.06   1.03
Feb     1.09    0.93   1.76   1.06   1.06   0.99
Mar     1.14    1.00   0.99   1.06   1.06   0.99
Apr     0.83    0.95   1.76   1.05   1.06   1.02
May     0.79    0.97   1.69   1.03   1.05   1.04
Jun     0.75    0.99   1.23   1.03   1.05   0.95
Jul     0.76    0.99   1.20   1.01   1.06   1.02
Aug     0.67    0.99   1.20   1.00   1.06   1.02
Sep     0.77    0.99   1.43   1.00   1.05   1.04
Oct     0.75    0.97   1.93   1.01   1.06   0.98
Nov     0.85    0.97   1.34   1.02   1.06   0.99
Dec     0.84    0.98   1.11   1.03   1.06   1.01

[END]
```

۳. نتایج

۳-۱. بارش

با توجه به رفتار اقلیم استان خراسان رضوی در دوره‌ی گذشته و همچنین سناریوی اقلیمی تهیه شده از خروجی الگو، میزان بارش‌های روزانـه‌ی ۹ ایسـتگاه سـینوپتیک مـورد مطالعـه در دهه‌ی ۲۰۲۰ (به عنوان نماینده دوره ۳۹-۲۰۱۰) محاسبه شدند. در جدول ۱ میـانگین و انحـراف معیار بارش‌ها در دوره‌ی آماری و آینده آمده است.

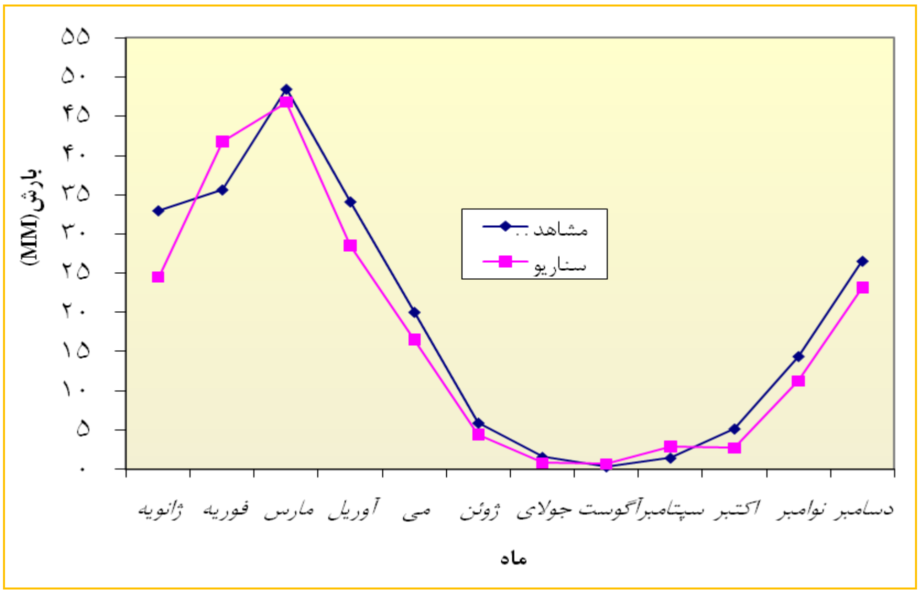
جدول۱. مقایسه‌ی بارش ها و انحراف معیار آنها در دوره‌ی آماری و دهه‌ی ۲۰۲۰ در ایستگاه های منتخب استان خراسان رضوی

		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دوره آماری	میزان بارش	۳۳	۳۵/۷	۴۸/۵	۳۴/۱	۲۰/۱	۵/۹	۱/۶	۰/۴	۱/۵	۵/۲	۱۴/۴	۲۶/۶
	انحراف معیار	۱۸	۲۶/۸	۳۰/۱	۲۶/۲	۱۹/۳	۸/۹	۴	۰/۹	۳/۵	۷/۳	۱۱/۶	۱۹/۱
دهه ۲۰۲۰	میزان بارش	۲۴/۵	۴۱/۷	۴۶/۸	۲۸/۵	۱۶/۶	۴/۵	۰/۸	۰/۸	۳	۲/۷	۱۱/۳	۲۳/۲
	انحراف معیار	۱۸/۲	۳۰	۳۳/۱	۲۰	۱۲/۷	۵/۸	۱/۸	۱/۱	۴/۸	۴/۳	۱۴/۶	۱۶/۵

بر اساس جدول شماره ۱، بارش ماه فوریه و بارش های اواخر تابسـتان افـزایش یافتـه، امـا بـارش سایر ماهها روند کاهشی دارد. انحراف معیار بارش های فصل زمستان و اواخـر تابسـتان در مقایسـه بـا دوره‌ی آماری افزایش یافته است، اما در سایر ماهها انحراف معیار روند کاهشی دارد.

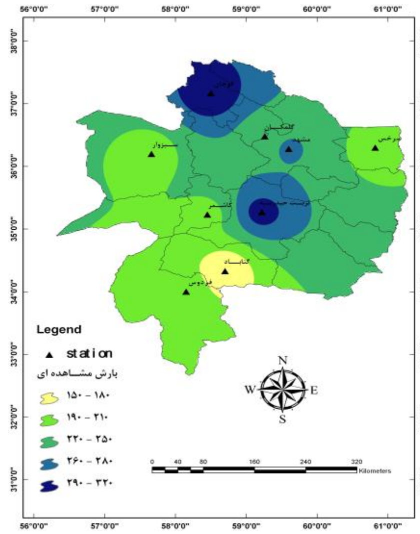
در نمودار ۱ توزیع ماهانه‌ی بارش ایستگاه های مورد مطالعه آمده است. ملاحظه می شود که بجز بارش ماه فوریه، اوت و سپتامبر که در مقایسه با دوره‌ی آماری افزایش یافته، در سایر ماههای فصل سرد سال میزان بارش‌ها کاهش می‌یابند. همچنین بارش‌ها در اواخر زمستان و تابستان افزایش یافته، اما در مجموع بارش سالانه به میزان ده درصد کاهش یافته است.

نمودار ۱. میانگین ماهانه بارش استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ (دهه ۲۰۲۰).

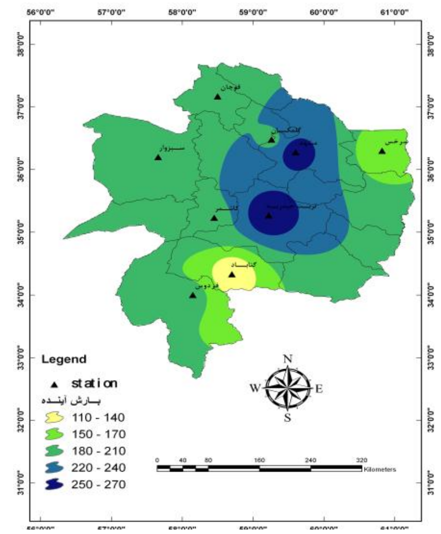


در شکل های ٤ و ٥ توزیع مکانی بارش‌های دوره‌ی آماری (۱۹۸۸ تا ۲۰۰۵) و بارش های پیش بینی شده برای دوره آینده (۳۹-۲۰۱۰) آمده است. بر این اساس بیشترین کاهش بارش در ایستگاه قوچان رخ داده، به گونه‌ای که بارش میانگین سالانه‌ی آن در دهه‌ی ۳۹-۲۰۱۰ نسبت به دوره‌ی آماری با۳۸/۹ درصد افت به ۱۹٤/۱ میلی متر کاهش می یابد. همچنین تغییرپذیری (انحراف معیار) بارش استان در دوره‌ی آینده نسبت به گذشته افزایش یافته است که بیشترین انحراف معیار مربوط به ماه مارس با۳۳/۱ درصد افزایش می باشد.

شکل ۴: توزیع مکانی بارش استان خراسان رضوی در دوره آماری



شکل۵:توزیع مکانی بارش استان خراسان رضوی در دهه‌ی ۲۰۲۰



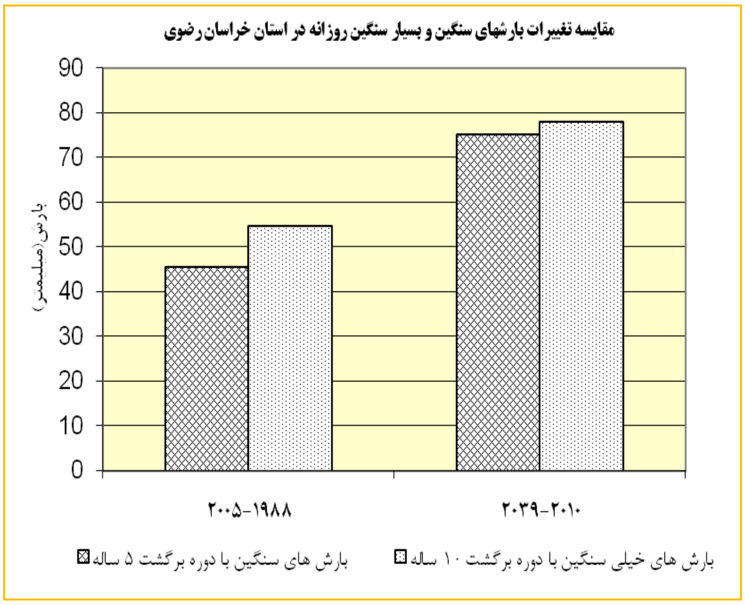
۳-۲. بارش های سنگین

آستانه‌ی بارش‌های سنگین[1] روزانه که به صورت بـارش‌هـای بـا دوره برگشـت پـنج سـال تعریف شده‌اند، در دوره‌ی آماری و دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ محاسـبه شـدند. همـین کـار بـرای آستانه‌ی بارش‌های بسیار سنگین[2] (با دوره برگشت ده ساله) نیز انجام شد.

در نمودار ۲ ملاحظه می شود که آستانه‌ی بـارش‌هـای سـنگین از حـدود ٤٦ میلـی‌متـر در دوره‌ی آماری به ٧٦ میلی‌متر در دوره۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ افزایش یافته است. آسـتانه‌ی بـارش‌هـای بسیار سنگین نیز به مانند بارش سنگین، روند افزایشی دارد.

1. Heavy Rainfall (HR)
2. Extreme Rainfall(XR)

نمودار۲. مقایسه‌ی تغییرات آستانه بارش‌های سنگین و بسیار سنگین روزانه در استان خراسان رضوی.



آستانه‌ی بارش هـای سـنگین در دوره‌ی (۳۹-۲۰۱۰) نسـبت بـه دوره آمـاری، حـدود ٦٥ درصـد افزایش یافته است. این نسبت در مورد بارش های بسیار سنگین ٤٣ درصد می باشد.

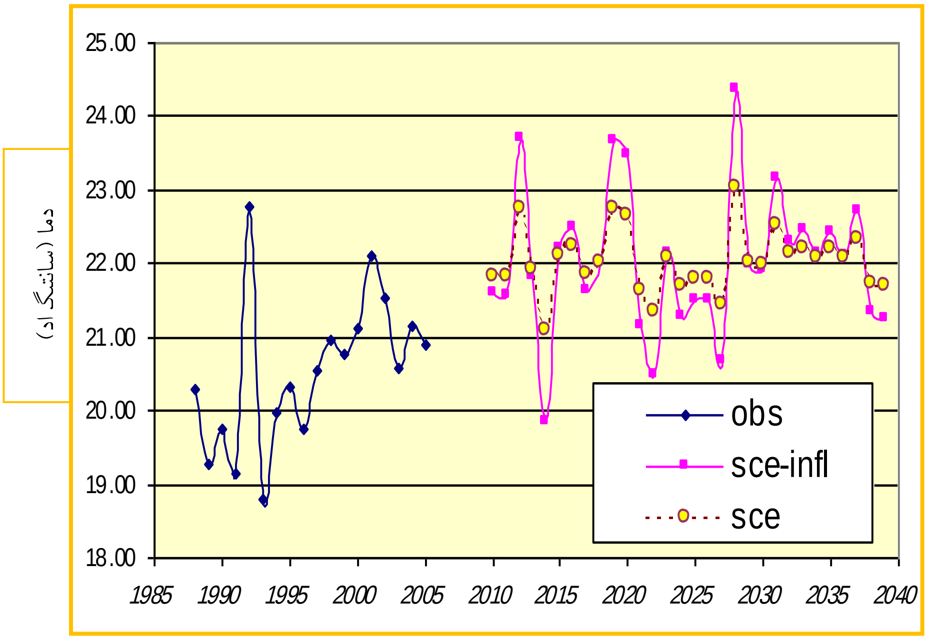
۳-۳. دما

نتایج نشان می‌دهند کـه میـانگین دمـای اسـتان در دوره (۳۹-۲۰۱۰) در مقایسـه بـا دوره‌ی آماری افزایش می‌یابد. نمودار ۳ میانگین دمای سالانه‌ی دوره مـورد مطالعـه را تـا سـال ۲۰۳۹ نشان می‌دهد. با استفاده از فرمول(۱) انحراف معیـار مقـادیر دمـای سـالانه در دوره ۲۰۱۰ تـا ۲۰۳۹ به نسبت انحراف معیار دوره پیش بینی بـه دوره‌ی آمـاری در داده هـای GCM افـزایش یافته است.

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{OBS}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM}$$ فرمول (۱)

که در آن STD انحراف معیار پارامتر هواشناسی مورد بررسی مربوط به دوره پایه[۱] و آینده[۲] داده های مشاهداتی[۳] یا خروجی الگوی گردش عمومی[٤] است (بابائیان و کوان، ۲۰۰٤).

نمودار ۳. میانگین دمای استان خراسان رضوی تا سال ۲۰۳۹ . میانگین دمای سالانه در دوره‌ی مورد مطالعه به نسبت انحراف معیار دوره‌ی آماری به پیش بینی در داده های GCM افزایش یافته است.



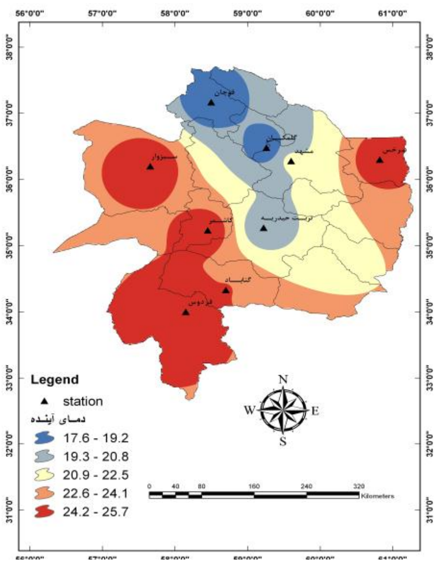
در جدول شماره ۲ میزان افزایش دما به تفکیک ایستگاهها آمده است. بیشترین افزایش دما مربوط به ایستگاه فردوس با ۳/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و کمترین مربوط به تربت حیدریه است که نسبت به دوره‌ی آماری ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش را نشان می‌دهد.

۱. Base
۲. Fut
۳. OBS
٤. GCM

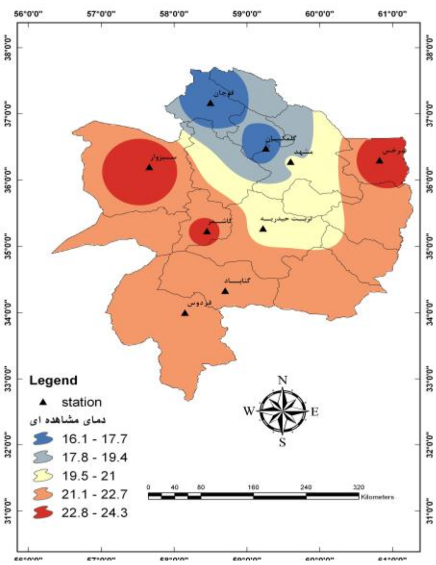
جدول ۲. تغییرات دما در ایستگاههای مختلف استان خراسان رضوی در دهه‌ی ۲۰۲۰

	سرخس	گناباد	قوچان	گلمکان	کاشمر	ت حیدریه	فردوس	سبزوار	مشهد
دمای دوره آماری	۲۳/۶	۲۲/۶	۱۶/۱	۱۶/۴	۲۳	۲۰/۸	۲۲/۴	۲۴/۳	۱۹/۵
دمای دهه‌ی ۲۰۲۰	۵۶/۲	۲۴/۱	۱۷/۶	۱۸	۲۵/۳	۱۹/۳	۲۵/۷	۲۵/۷	۲۱/۱
تغییرات دما	۱/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۶	۲/۳	۱/۵	۳/۳	۱/۵	۱/۶

شکل های ۶ و ۷ توزیع مکانی دماهای دوره‌ی آماری (۱۹۸۸ تا ۲۰۰۵) و دماهای پیش بینی شده برای دوره آینده (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۹) را نشان می دهند.



شکل۷: توزیع مکانی میانگین دمای سالانه استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ (دهه ۲۰۲۰).



شکل۶: توزیع مکانی میانگین دمای استان خراسان رضوی در دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۸۸).

۴-۳. روزهای داغ و یخبندان

روز داغ به روزی گفته می‌شود که دمای بیشینه‌ی آن از سی درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر باشد. همچنین روزی که دمای کمینه‌ی آن صفر یا کمتر باشد، روز یخبندان نامیده می‌شود. بر این

اساس تعداد روزهای داغ و یخبندان برای دوره های ۲۰۰٤–۱۹۸۸ و ۳۹–۲۰۱۰ محاسبه شـدند که نتایج نشان دهنده‌ی کاهش تعداد روزهای یخبندان به میزان ۱٤/۷ درصـد و افـزایش تعـداد روزهای داغ به مقدار ۷/۸ درصد در دوره ۳۹–۲۰۱۰ در مقایسه با دوره‌ی آماری می‌باشد.

۵. تحلیل

در این تحقیق، یکی از جنبه های مهـم تغییـر اقلـیم، یعنـی شـناخت کمّـی آن روی اسـتان خراسان رضوی مورد مطالعه قرار می‌گیرد که نتایج آن می تواند در سایر جنبه هـای مطالعـاتی تغییر اقلیم یعنی بررسی پیامدها و سازگاری با آن مورد اسـتفاده قـرار گیـرد. نتـایج الگوسـازی پارامترهای مختلف هواشناسی و اقلیمی، نشان می‌دهند که در رفتار اقلیم اسـتان دو تغییـر مهـم در حال رخ دادن است: افزایش مقادیر حدی و کاهش بارش‌های پاییزه. بررسی مقادیر میانگین بارش‌های ماهانه دوره ۳۹–۲۰۱۰ نشان می‌دهد که بارش‌های پـاییزه اسـتان کـاهش یافتـه، امـا میانگین بارش در فصل زمستان و تابستان افزایش مـی‌یابـد. بـه طـورکلی تغییـرات بارشـی بـه گونه‌ای است که موجب کاهش ۹/۵ درصدی در بارش سالانه و جابه جایی الگـوی بـارش بـه سمت انتهای فصل بارش می‌شود. همچنین آستانه‌ی بارش‌های سنگین و بسیار سنگین، کـه بـه صورت بارش های روزانه با دوره برگشت پنج و ده ساله تعریف شده اند، افزایش می‌یابد. این تغییـر در رفتـار بـارش‌هـای سـنگین موجـب افـزایش احتمـال رخـداد پدیـده هـای حـدّی هیدرواقلیمی، مانند بارش‌های رگباری و سیل در دهه‌های آینده می‌شود کـه لـزوم بـازنگری و تهیه‌ی برنامه‌های متناسب با تغییرات اقلیمی در بخش مدیریت منابع آبی(روان‌آب‌هـا و سـیلاب) و تأسیسات زیربنایی مانند طرّاحی سدها، مهندسی رودخانه ها، سیستم هـای جمـع آوری آب شهری و ... را ایجاب می‌نماید.

میانگین دمـای اسـتان در دوره ۳۰۱۰–۲۰۳۹ حـدود ۱/۵درجـه‌ی سلسـیوس (بـدون لحـاظ ایستگاه فردوس، با توجه به پیوستن آن به استان خراسان جنوبی) افزایش می یابـد. ایـن مقـدار بـا لحاظ ایستگاه فردوس حدود ۱/۸درجه‌ی سلسیوس اسـت کـه میـانگین افـزایش دمـای فصـل زمستان از سایر فصل‌ها بیشتر است. این وضعیت موجب کاهش بارش‌های برف در استان شده

و موجب کاهش تغذیه‌ی منابع آب‌های زیرزمینی استان و همچنین کاهش جریان آب در فصول بهار و تابستان می‌شود. همچنین با افزایش تعداد روزهای داغ و کاهش روزهای یخ‌بندان عملکرد محصولات زراعی استان به دلیل نیاز کمینه‌ی آنها به میزان مشخصی از درجه روز گرمایی و سرمایی کاهش خواهد یافت.

۶. جمع بندی

به منظور ارزشیابی تغییرات اقلیمی استان خراسان رضوی و لحاظ آن در برنامه ریزی های بلند مدت و راهبردی استان در قالب طرح آمایش سرزمین، مطالعات تغییرات اقلیمی این استان در افق ۱٤۰۰ شامل سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی انجام گرفت. در این مطالعه از داده های دوره‌ی آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۰٤ ایستگاههای سینویتیک مشهد، سبزوار، قوچان، گلمکان، تربت حیدریه، فردوس، کاشمر، گناباد و سرخس و همچنین داده های الگوی جهانی ECHO-G در دو دوره‌ی (۱۹۸۸ تا ۲۰۰٤) و (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹) برای تهیه‌ی یک سناریوی تغییر اقلیم برای نه ایستگاه سینوپتیک مذکور استفاده شد. سپس خروجی الگوی ECHO-G در دوره۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ توسط الگوی آماریLARS-WG که یک الگوی تولید داده های هواشناسی است، تا مقیاس ایستگاهی ریز گردانی شدند. سپس داده های یاد شده در تمامی ایستگاهها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و نتایج کلی تغییرات اقلیمی استان خراسان رضوی در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ به صورت زیر به دست آمد:

- مجموع بارش سالانه‌ی کل استان خراسان رضوی به طور متوسط در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ به میزان ۹/۵ درصد نسبت به سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰٤ کاهش می یابد.
- علی‌رغم کاهش در میزان بارش سالانه،میانگین بارش ماهانه در ماه‌های فوریه، آگوست و سپتامبر در دوره آینده افزایش می یابد.
- الگوی بارش‌های فصل سرد در نه ایستگاه سینوپتیک تمایلی به سمت جابه‌جا شدن به سمت انتهای فصل سرد دارند، بنابراین از میزان بارش‌های پاییزه در کشور کاسته شده و در عوض بارش‌های پایان فصل زمستان و اوایل بهار افزایش می یابد.

• علی‌رغم کاهش ۹/۵ درصدی بارش سالانه‌ی استان، آستانه های بارش‌های سنگین و بسیار سنگین افزایش یافته، لذا احتمال وقوع بارش های سیل آسا در دهه‌های آتی افزایش می یابد، بنابراین باید برنامه‌های جامعی برای کاهش اثرات بارش‌های سیل آسا، جمع آوری و مهار آب‌های سطحی و روان‌آب و استفاده‌ی بهینه از آن در استان تدوین شود.

• دمای میانگین به میزان ۱/۵ تا ۳/۳ درجه‌ی سلسیوس (بدون لحاظ ایستگاه فردوس حدود ۱/۵ درجه) در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ در مقایسه با دوره‌ی آماری گذشته افزایش می‌یابد، که این می‌تواند موجب کاهش بارش های جامد شامل برف و... در استان شود، بنابراین تغذیه‌ی منابع آب‌های زیر زمینی از طریق بارش‌های جامد کاهش می‌یابد.

• تعداد روزهای یخ‌بندان در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ در مقایسه با دوره‌ی آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۰٤ به میزان ١٤/٧ درصد کاسته می شود.

• تعداد روزهای داغ در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ به میزان۷/۷۹ درصد نسبت به دوره‌ی ۱۹۸۸ تا ۲۰۰٤ افزایش می یابد.

• بیشترین افزایش دما در ایستگاه فردوس به میزان ۳/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و کمترین آن در ایستگاههای تربت حیدریه ، گناباد، قوچان و سبزوار به میزان ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد بود.

قدردانی

این پروژه با حمایت و پشتیبانی اداره کل هواشناسی کشور و سازمان هواشناسی کشور به انجام رسیده است، لذا نویسندگان مقاله از مسؤولان محترم مربوط تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع و مآخذ:

۱. احترامیان. ک، شهابفر. ع، علیزاده. ا، (۱۳۸۳)، ***"ارزیابی پدیده انسو بر رژیم بارش در استان خراسان"***، مجلّه‌ی جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۳، پاییز و زمستان ۱۳۸۳.

۲. باباییان.ا، نجفی نیک.ز، زکی زاده.ع، (۱۳۸٤)، ***مطالعه‌ی مقدماتی و ارزیابی مدلهای weather generator مطالعه‌ی موردی: ارزیابی مدل LARS-WG بر روی ایستگاههای منتخب خراسان***، پژوهشکده اقلیم شناسی، گزارش پروژه.

3. Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S., (2004): ***Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea***. Korea Meteorological Research Institute, climate research lab, 98pp.
4. Dubrovsky M., (1998): ***Estimating climate change impacts on crop yields with use of crop growth model and weather generator***. Proc. 14th Conf. Prob. Stat., AMS.
5. Dubrovsky, M., (1996): Met&Roll: ***the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model***. Meteorological Bulletin 49, 97-105.
6. Dubrovsky, M., (1996): ***Validation of the stochastic Weather Generator Met&ROLL, Meteorogickeo Zpravy***, Vol49, pp. 12q – 1380.
7. Goodess, C.M., (2000): ***The Construction of Daily Rainfall Scenarios for Mediterranean Sites Using a Circulation-type Approach to Downscaling***, PhD Thesis, University of East Anglia.
8. Harmel,R.D, et.al, (2002): ***Evaluating the Adequecy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temprature With the Normal Distributian***, Canadian Society for engineering , 26pp.
9. Johnson, G.L., Hanson, C.L., Hardegree, S.P., and Ballard, E.B., (1996): ***Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models***. J. Applied Meteorology 35, 1878-1896.
10. Katz, R. W., (1996): ***Use of conditional stochastic models to generate climate change scenarios***, Climate Change 32, 237-255.
11. Mc kague,k., et. Al (2003): ***Clim Gen- A ZGnvenient weather Genera Tion Tool for Canadian climat stations***, proceeding of CCAE/SCGR 2003 Meeting, Montreal, Canada.
12. Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A., (1991): ***A serial approach to local stochastic models***. J. Ecological Modeling 57, 27-41.
13. Richardson, C.W., and Wright, D.A., (1984): WGEN: ***A model for generating daily weather variables***. U.S. Dept. Agr., Agricultural Research Service, Publ. ARS-8, 83 pp.

14. Semenov, M.A., and Barrow, E.M., (2002): ***LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies***. User's manual, Version3.0.
15. Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W., (1998): ***Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates***. Climate Research 10, 95-107.
16. Thompson, C.S, and Mullan, A.B, (1995): ***Weather Generators. NIWA Internal report***, 115- 120.
17. Wilks, D.S. (1992). ***Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies***. Climate Change. 22, 67-84.
18. Wilks, D.S. and Wilby, R.L. (1999): ***The weather generation game: a review of stochastic weather models***. Progress in Physical Geography 23, 329-357.
19. Zhang,X.C.,(2003): ***Evaluation of CLIGEN precipitation parameters and their implication on WEPP runoff and erosion prediction***, Transaction of the ASAE,Vol.46(2):311-320.